

3.3 地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究②

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：地質・地盤研究グループ（地質）

研究担当者：佐々木靖人、浅井健一、日外勝仁

【要旨】

本研究は、山地部の地盤を主対象として、地震による斜面地盤変状の事例を収集・分析することにより、地震時に道路橋に影響を及ぼすような変状を起こしやすい地盤条件の判定手法を提案することを目的としている。平成 25 年度は、23 年度に整理した地震時の斜面地盤の変状パターン③（流れ盤の層理面・節理面・断層面・薄い脆弱層によるすべりまたは崩壊）に相当する代表事例の数値解析を行った。数値解析では、同一地区においてすべり面が存在するモデルと存在しないモデルで 3 次元 FEM による動的解析を行った結果、すべり面が存在しないモデルにより地形の影響について解析できた。また、すべり面が存在するモデルによる解析では、大変位という点では実際の現象と調和的であるが変位量の予測は困難であることが示された。この結果と 23～24 年度の検討結果をふまえ、地震時に変状を起こしやすい斜面の地盤条件の判定手法の概略の方向性を検討し、示した。

キーワード：道路橋、地震、斜面、災害、地盤、変状

1. はじめに

平成 20 年 6 月に発生した岩手・宮城内陸地震における国道 342 号祭時（まつるべ）大橋の落橋や国道 397 号尿前（しとまえ）溪谷橋の橋台基礎地盤の変状などの例のように、地震時に大きな地盤変状を生じる箇所に立地する道路橋は、道路通行の安全性はもとより、復旧、復興の長期化などにより地域経済に大きな損失を及ぼしかねない甚大な被害を生じる可能性を有する。このような橋梁が多いと想定される山地部等の橋梁は数万橋に及び、道路ネットワークの確保のためにも地震時に大きな地盤変状を受ける立地条件の道路橋に対する耐震安全性の確保が求められる。そのためには、地震時に変状を起こしやすい地盤条件の判定と道路橋への影響を推定する手法が必要となるが、その手法は確立されていない。

したがって、本研究では、山地部の地盤を主対象として、地震による斜面地盤変状の事例を収集・分析することにより、地震時に道路橋に影響を及ぼすような変状を起こしやすい地盤条件の判定手法を提案することを目的としている。

平成 25 年度は、23 年度に整理した地震時の斜面地盤の変状パターン¹⁾③（流れ盤の層理面・節理面・断層面・薄い脆弱層によるすべりまたは崩壊）に相当する代表事例の数値解析を行った。また、地震時に変状を起こしやすい斜面の地盤条件の判定手法の概略の方向性について検討した。

2. 研究方法

2. 1 数値解析

平成 24 年度に詳細資料により地形・地質の特徴を整理した 6 事例²⁾のうち、平成 23 年度に整理した地震時の斜面地盤の変状パターン③（流れ盤の層理面・節理面・断層面・薄い脆弱層によるすべりまたは崩壊）に属するものから M 地区を代表事例として選定し、平成 24 年度に作成した地質モデルをもとに 3 次元の FEM 解析モデルを作成し、地震時の応力状態に関する動的解析を行った。当該地区は岩手・宮城内陸地震により長さ約 160m、幅約 120m、深さ約 35m の規模の岩盤地すべりが発生し、当該箇所に架設されていた道路橋の地すべり移動体側の基礎が約 11m 移動し落橋した。地質は新第三紀の凝灰質砂岩であり、層理面とすべり面の傾斜が調和的（いずれも約 5 度の緩傾斜）な流れ盤構造であった。すべり面となったのは凝灰質砂岩に挟まれた凝灰岩の薄層である。当該箇所の地形は緩傾斜の平坦面（段丘面）で両側が河川の浸食により急崖となり、半島状の地形となっていた。

24 年度作成の地質モデルからの FEM 解析モデル作成は、当該地区の調査検討委員会報告書（以下「報告書」）で検討された地質状況も参考にしながら行った。作成した 3 次元 FEM 解析モデルを図－1 に示す。解析モデル化した地質は次の通りである。

・凝灰質砂岩（当該地区の基盤地質）

表ー 1 解析に用いた物性値

名称	静的変形特性						
	物性値						
	ポアソン比 ν	ヤング率 $E(\text{kN/m}^2)$	単位体積重量 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	粘着力 $C(\text{kN/m}^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	引張強度 $\sigma_t(\text{kN/m}^2)$	静止土圧係数 K_0
凝灰質砂岩 (CH級)	0.35	1,000,000	20	2,000	35	400	0.5
凝灰質砂岩 (CL級)	0.35	100,000	20	150	30	30	0.5
段丘堆積物	0.35	50,000	18	20	35	4	0.5
河床砂礫	0.35	100,000	20	20	40	4	0.5
断層破碎帯	0.30	50,000	19	70	25	14	0.5
すべり面弱層	0.30	50,000	19	70	25	14	0.5

名称	動的変形特性		
	物性値		
	動的ポアソン比 ν_d	動的ヤング率 $E_d(\text{kN/m}^2)$	減衰 材料減衰 減衰比 h
凝灰質砂岩 (CH級)	0.40	2,000,000	0.130
凝灰質砂岩 (CL級)	0.40	200,000	0.065
段丘堆積物	0.40	100,000	0.030
河床砂礫	0.40	200,000	0.030
断層破碎帯	0.45	100,000	0.030
すべり面弱層	0.45	100,000	0.030

- ・地すべり移動体（構成物質は上記と同じ凝灰質砂岩）
- ・段丘堆積物（上部平坦面に載る）
- ・河床砂礫（地すべり末端を流れる河床部）
- ・断層破碎帯（地すべり移動体および基盤を横切ると推定されている高角度断層で、報告書の記載では岩手・宮城内陸地震では動いていないとされている。）
- ・すべり面（地すべり移動体と基盤の境界に設けた）

モデル化は地すべりのさらに 100m 前後外側付近の範囲まで行った。用いた解析ソフト（市販の 3 次元 FEM 解析ソフト「SoilPlus」）のメッシュ量の制限から、モデルのメッシュサイズは 10m を基本として作成した。

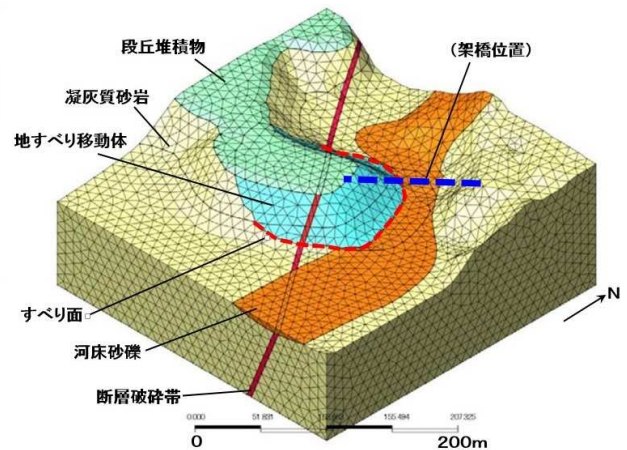
設定した物性値を表ー 1 に示す。これらのほとんどは、実測値がなく、一般的な値を参考にした仮定である。凝灰質砂岩については報告書に岩級区分についての記載がなかったため、CH 級との場合と CL 級の場合の 2 種類について設定した。これらのうちで実測値があるのは報告書に記載のある以下のもののみである。（解析では数値を丸めて用いた。）

- ・凝灰質砂岩の湿潤密度：1,971kg/m³
（単位体積重量 19.32kN/m³相当）
- ・すべり面の強度（一面せん断試験）： $c=13.0\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=24.7^{\circ}$

入力した地震波形は、当該地区の約 1.2km 西南西の深さ 260m にある防災科学技術研究所 KiK-net 観測点で観測された波形で、最大加速度の絶対値は東西 747.9221gal、南北 1036.1895gal、上下 680.7559gal である。

解析はすべり面が存在するケースと存在しないケースを設けて解析を行った。

2. 2 判定手法の概略の方向性の検討



図ー 1 作成した三次元 FEM 解析モデル

最終年度にとりまとめる「地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策ガイドライン（案）（仮称）」に向けて、平成 23 年度に行った地震時の斜面地盤の変状パターンの分類、平成 24 年度に行った詳細資料による地形・地質の特徴の整理および今年度の数値解析の結果をふまえながら、地震時に変状を起こしやすい斜面の地盤条件の判定手法の概略の方向性の検討を行った。

3. 研究結果

3. 1 数値解析

すべり面が存在しないモデルの解析結果の例を図ー 2 ～ 4 に示す。図ー 2、3 はそれぞれ地表面の最大加速度および最大速度を示したもので、地すべりの箇所が加速度で周囲の 2 倍程度となる解析結果となった。図ー 4 はすべり面となった面の位置での上下方向の引張最大応力の分布を示したもので、圧縮応力と交互ではあるが相当の引張応力が働いた解析結果となった。これらはすべり面が存在しないモデルでの結果であるため、半島状地形の影響であると解釈できる。

これに対し、すべり面が存在するモデルで解析を行うと、いつまでも変形し続けて計算が収束しない結果となった。これは大変位を起こしたという点では実際の現象と調和的であると解釈できる。ただし変位量については

全く合わない。強度については仮定で設定しているため限定的な結果ではあるが、数値解析により大変位の可能性についての予測は可能であるが変位量の定量予測は困難であるといえる。この解析結果から、斜面変動機構の可能性の1つとして、当該地区では地形の影響により加速度が増幅され引張応力が高くなった（拘束圧が低くなった）箇所にすべり面となる弱層が存在したことにより、大変位が生じたことが考えられる。今後、地震動と応力の関係などについて詳細な検討を行い、判定手法に取り入れて行く方法を検討する予定である。

3.2 判定手法の概略の方向性

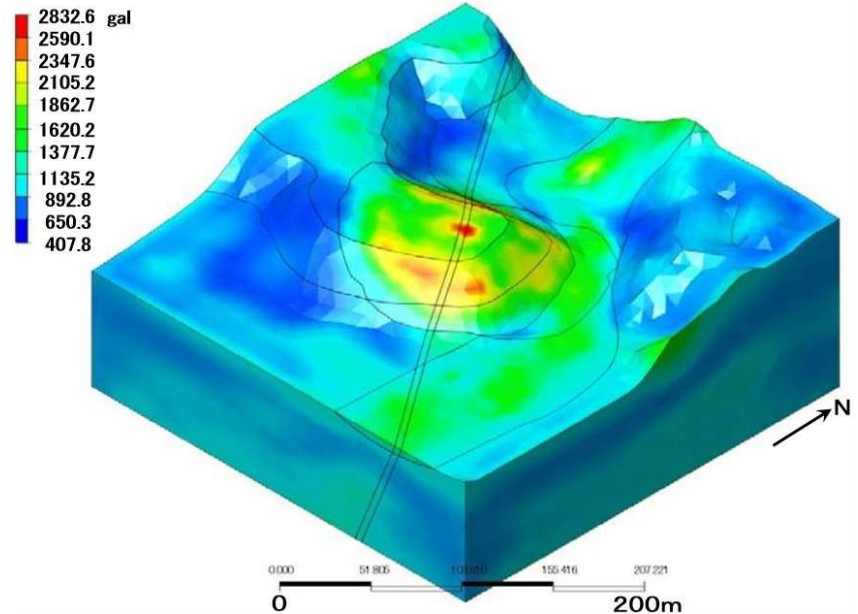
平成 23 年度に行った地震時の斜面地盤の変状パターン分類、平成 24 年度に行った詳細資料による地形・地質の特徴の整理をふまえると、地震時に変状を起こしやすい斜面の地盤条件の判定は以下のような流れが考えられる。

- ① 資料調査、地形判読などによる地形および地質構造の把握をまず行い、現地踏査によってそれらの確認と補足を行う。
- ② ①の結果をもとに、ボーリング等の詳細地質調査を行い、弱層の存在と連続性なども含めた詳細な地質構造を明らかにするとともに、解析などの詳細検討に必要な物性値に関する情報を得る。
- ③ ①および②の結果をもとに、地震時の応力状態等に関する数値解析などの詳細な検討を加えて判定する。

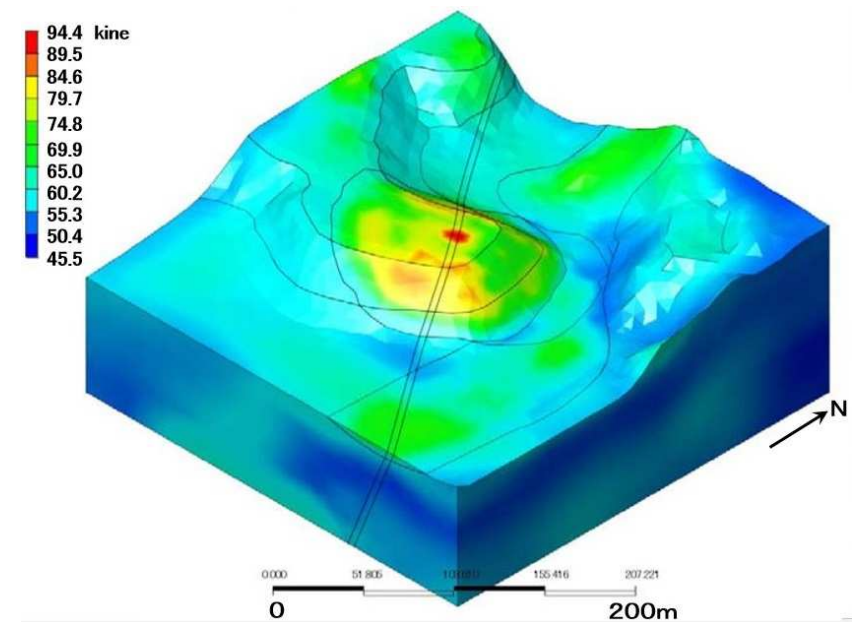
このような流れをふまえた判定手法の概略の方向性は以下のとおりである。

(1) 総則

適用範囲等について規定する。全国のすべての道路橋に適用することは実務上困難であり、特に耐震安全対策を行うべき重要な路線・橋梁（それらの選定自体は行政的に判断される事項であり、判定手法の対象外である）に適用する旨を記述する。



図ー2 解析結果例（加速度分布の絶対値）
凝灰質砂岩にCL級の物性値（表ー1）を設定、すべり面なし



図ー3 解析結果例（速度分布の絶対値）
凝灰質砂岩にCL級の物性値（表ー1）を設定、すべり面なし

(2) 予備調査

地震による斜面地盤変状の起こりやすい地形・地質構造を抽出するとともに、発生可能性のある変状パターンを明らかにするため、以下の手順で行う。

1) 資料調査

既往の地形・地質に関する資料（地すべり地形分布図、空中写真、航空レーザ測量データ、地質図など）を収集するとともに、空中写真および航空レーザ測量データを用いた地形判読を行い、これらを整理することにより、地形と地質構造を把握する。斜面の変動地形を的確に把握するためには詳細な微地形が重要であることから、精

度のよい航空レーザ測量データや空中写真がない場合は新たに取得する必要がある。

判定にあたっては周辺の変動地形、地質構造、脆弱層の分布・性状（強度特性等）と併せて検討する必要があること、および判定結果によっては路線や橋梁位置の変更が必要となる可能性があることから、広域的に調査することが必要である。

2) 現地踏査

資料調査で把握した地形および地質構造の確認と、資料調査で把握できなかった地形・地質構造の補足のために現地踏査を行う。特に露頭調査においては、弱層の存在とその性状についての記載を十分行うことが必要である。

(3) 本調査

予備調査で発生可能性を指摘された変状パターンの発生のしやすさの詳細検討および判定に向けて、詳細地質構造や強度・物性値の把握などのため、ボーリング調査、力学試験等の詳細調査を計画し、実施する。特に弱層の存在や連続性、その強度などは地震時の斜面の地盤変状の判定においては重要な要素である。そのため、確実にそれらに関する情報や力学試験等に必要な試料が得られるよう、適切な調査を計画する必要がある。また、それに必要な手法を選定する必要がある。例えばボーリング調査を行う場合、通常のボーリングでは弱層部分の良好なコアを取得できない可能性があり、オールコアの高品質ボーリングによって良好なコアを確実に取得するよう計画することが必要である。

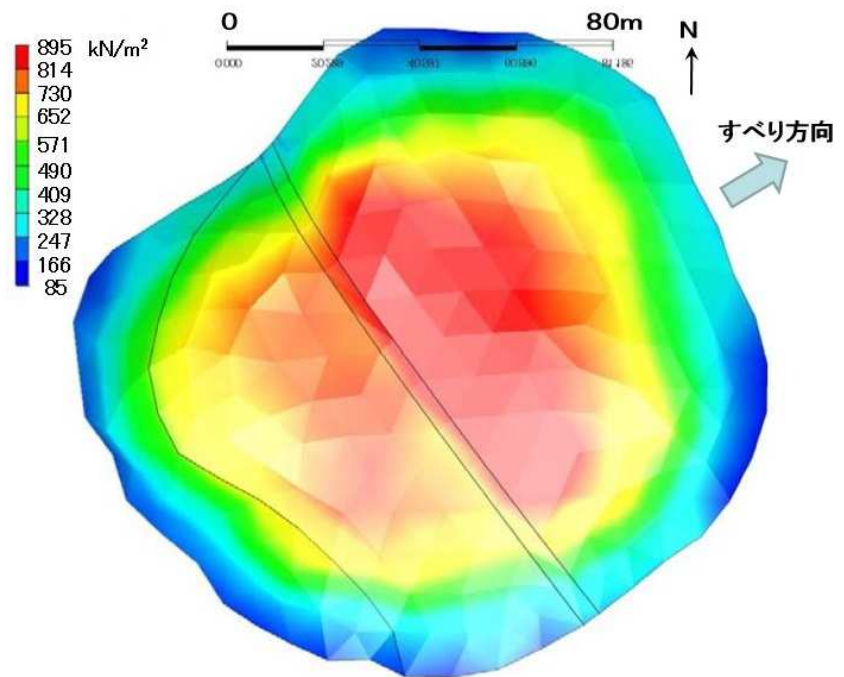
(4) 詳細検討・判定

本調査までの結果をもとに、数値解析などによる地震時の地盤内の応力状態等の詳細検討を加えながら、地盤変状の可能性について判定する。解析では、例えば流れ盤のすべりまたは崩壊について、すべり面となりうる弱層が存在する場合と存在しない場合での解析を行うことにより、地形の影響と弱層の影響を個別に検討することができる。

4. まとめ

地震時に道路橋に影響を及ぼすような変状を起こしやすい山地部の地盤条件の判定手法を提案することを目的

として、平成 25 年度は、23 年度に整理した地震時の斜



図－4 解析結果例（地すべり移動体下面における上下方向最大引張応力分布）

凝灰質砂岩にCL級の物性値（表－1）を設定、すべり面なし

面地盤の変状パターン^{1)③}（流れ盤の層理面・節理面・断層面・薄い脆弱層によるすべりまたは崩壊）に相当する代表事例の数値解析を行った。数値解析では、同一地区においてすべり面が存在するモデルと存在しないモデルで3次元FEMによる動的解析を行った結果、すべり面が存在しないモデルにより地形の影響について解析できた。また、すべり面が存在するモデルによる解析では、大変位という点では実際の現象と調和的であるが変位量の予測は困難であることが示された。この結果と23～24年度の検討結果をふまえ、地震時に変状を起こしやすい斜面の地盤条件の判定手法の概略の方向性について検討した。

参考文献

- 1) 浅井健一・日外勝仁・佐々木靖人：地震時に構造物基礎の安全性に影響を及ぼすような斜面地盤変状のパターン、地盤工学会関東支部発表会（CD-ROM）、2012年10月
- 2) 佐々木靖人・浅井健一・日外勝仁：地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究（2）、平成24年度土木研究所プロジェクト研究報告書。

RESEARCH ON THE COUNTERMEASURES FOR PREVENTING THE DAMAGE OF A ROAD BRIDGE CAUSED BY MOVEMENT OF THE GROUND BY EARTHQUAKE (2)

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Geology and Geotechnical Engineering
Research Group(Geology)

Author : Yasuhito SASAKI

Ken-ichi ASAI

Katsuhito AGUI

Abstract : The purpose of this research is to propose method for judging ground condition which is likely to be deformed to influence bridge safety by earthquake in mountainous area. In 2013FY, we performed numerical analysis of a typical case of slope deformation pattern (divided in 2011FY) No.3 (slide or collapse by bedding plane, joint plane, fault plane or thin weak layer which dips concordant to the slope). Dynamic analysis of three dimensional FEM reveal the influence of topography by comparing analysis of the model which slip surface exists and that which slip surface does not exist. The analysis of the model which slip surface does not exist suggested that the occurrence of large displacement in the analysis was concordant with the fact, but it is difficult to the displacement scale quantitatively. Based on these results and those in 2011FY and 2012FY, we examined and showed the rough direction of the method for judging ground condition which is likely to be deformed to influence bridge safety by earthquake in mountainous area.

Key words : road bridge, earthquake, slope, disaster, ground, deformation